

Cultivos de cobertura en el monocultivo de soja: producción de biomasa y aporte de nutrientes

Matías Duval, Juan A. Galantini, Julia Capurro y Juan M. Martínez

El predominio del cultivo de soja en los sistemas agrícolas actuales genera un balance negativo de la materia orgánica, con consecuencias sobre la disponibilidad de nutrientes, y procesos erosivos por falta de cobertura del suelo. Los cultivos de cobertura surgen como alternativa para incrementar el aporte de carbono al sistema, reducir la erosión del suelo y evitar la lixiviación de nutrientes.



Actualmente en Argentina la mayor parte de los cultivos se implantan bajo el sistema de siembra directa (SD) (Derpsch et al., 2010). A su vez, los sistemas agrícolas actuales se caracterizan por largos períodos de barbecho en secuencias de cultivos con predominio de soja de primera como una única cosecha anual (Caviglia et al., 2011). Esto puede repercutir negativamente sobre la calidad del suelo. Existen evidencias que una alta proporción de soja en la rotación, asociado con una escasa entrada de residuos con baja relación C:N, puede afectar los contenidos de carbono orgánico total del suelo (COS) (Wright y Hons, 2005). Por lo tanto, la falta de rotación de cultivos, incluso bajo SD, podría conducir a pérdidas tanto de COS como de productividad si las entradas de carbono al suelo por los residuos de cosecha son inferiores a salidas por descomposición y/o erosión (Pittelkow et al., 2015).

La intensificación de la secuencia de cultivos mediante la inclusión de alternativas invernales mejoraría muchos aspectos de los actuales sistemas agrícolas permitiendo una producción sostenible, eficiente y rentable. En este sentido, los cultivos de cobertura (CC) invernales serían una alternativa promisorio para aportar residuos ricos en C y promover al desarrollo y mantenimiento de la cobertura de los suelos, además de otros beneficios sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas edáficas (Daliparthi et al., 1994). Varias gramíneas de invierno tales como centeno (*Secale cereale* L.), avena (*Avena sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), triticale (x *Triticosecale* Wittmack) y raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) son utilizadas como CC logrando un importante aporte de C entre cultivos consecutivos de soja, manteniendo o mejorando los niveles de COS (Álvarez et al., 2006). Sin embargo, el COS es poco probable que cambie en el corto plazo (3-4 años), pero si las fracciones más lábiles, las asociadas a residuos en etapas tempranas de descomposición y

ligadas a las fracciones estructurales más gruesas del suelo (carbono orgánico particulado, COP) (Christensen, 2001; Galantini et al., 2004).

El COP es la fracción más activa del COS y es utilizado como indicador de la calidad del suelo en el corto plazo, ya que es sensible a los cambios en las prácticas de manejo (Duval et al., 2013). Estas fracciones han demostrado ser buenos indicadores ante cambios en las secuencias de cultivos (Salvo et al., 2010) y podría mostrar cambios tempranos en el suelo por la inclusión de CC. El siguiente trabajo tiene por objetivo evaluar el efecto de diferentes especies de CC sobre el balance y dinámica del COS y sus fracciones.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio y diseño experimental

El estudio se realizó en la localidad de Correa, provincia de Santa Fe (32°57'21"S, 61°18'18"O) durante seis años consecutivos (2006-2012) en un suelo Argiudol típico serie Correa. El lote presentaba una historia agrícola de cuarenta años, los últimos diez en SD, con predominio de soja (*Glycine max* L. Merr.) y barbecho invernal. Entre mayo y julio de cada año se sembraron los CC bajo el sistema de SD. Los CC utilizados fueron: (T) trigo pan (*Triticum aestivum* L.), (A) avena (*Avena sativa* L.), (V) Vicia (*Vicia sativa* L.), (A+V) avena+vicia y (Ct) un tratamiento control (sin CC) con barbecho químico. Los cinco tratamientos fueron dispuestos en un diseño en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones y parcelas de 500 m² (50 × 10 m). Durante los años 2008, 2009 y 2011, se tomaron muestras de suelo para evaluar el efecto acumulado tres, cuatro y seis CC consecutivos. En cada año, dentro de cada parcela, las muestras de suelo (3 réplicas) fueron tomadas al azar a las profundidades de 0-20 cm.

Cultivos de cobertura

La producción de materia seca aérea total (MS) en los distintos CC se determinó al momento de secado. El crecimiento de los CC se suprimió en promedio a los 150 días desde su siembra, en estadios reproductivos, con aplicaciones de glifosato.

Determinaciones químicas edáficas

Sobre muestras de suelo se determinó el contenido de carbono orgánico total (COS) y, a través del fraccionamiento por tamaño de partícula (Duval et al., 2013), el carbono orgánico particulado (COP) en la fracción gruesa (105-2000 µm) y media (53-105 µm) denominados COP_g y COP_f, respectivamente.

Análisis de datos

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó análisis de varianza (ANOVA). Todos los datos fueron analizados utilizando el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2013).

Resultados y discusión

Producción de MS de los CC

En los seis años evaluados, la cantidad de MS producida presentó diferencias significativas entre CC ($p < 0,001$) y entre años ($p < 0,001$) (Figura 1). Los tratamientos T y A, en promedio, presentaron una producción de MS 24 y 91% superior a los de A+V y V, respectivamente; a su vez también se observaron diferencias significativas entre A+V y V, donde la leguminosa pura acumuló menores contenidos de MS, salvo en el año 2011, donde no se hallaron diferencias (Figura 1). La producción de MS de las gramíneas (T y A) osciló entre 4,6 y 11,1 Mg ha^{-1} , diferenciándose significativamente de V con producciones de MS entre 2,5 y 4,6 Mg ha^{-1} . El tratamiento A+V presentó valores de MS entre 4,9 y 8,5 Mg ha^{-1} siendo inferiores a las de gramíneas puras en los años 2006, 2009 y 2010 (Figura 1). Unger y Vigil (1998) también observaron que las gramíneas se adaptan mejor como CC que las leguminosas debido a su mayor generación de biomasa aun en condiciones de sequía. La vicia se caracteriza por presentar un crecimiento lento, en etapas iniciales, en relación a las gramíneas, influyendo en la producción de MS. El aporte de C por los CC presentó las mismas diferencias que la MS debido a que la concentración de C de los diferentes CC no presentó diferencias significativas (43-45% C).

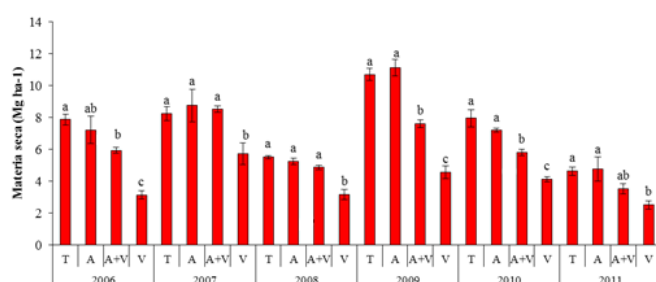


Figura 1: Producción de materia seca aérea total (Mg MS ha^{-1}) de los cultivos de cobertura. Para cada año letras diferentes indican diferencias significativas entre CC ($p < 0,05$).

Aporte de carbono de los CC: efecto sobre COS y las fracciones lábiles

En el 2008, a pesar del significativo aporte de C por los CC ($T=3177\pm606$; $A=3116\pm847$; $A+V=2835\pm723$ y $V=1768\pm644$ kg ha⁻¹ año⁻¹), no evidenciaron cambios significativos en los niveles de COS en relación a Ct (Figura 2a). A partir del cuarto año con CC (2009) se observaron diferencias significativas entre los CC y Ct (Figura 2a). Los tratamientos A y A+V presentaron un aumento significativo del COS en relación a Ct, mientras que en T y V, si bien también aumentó el COS (0,7 g kg⁻¹ más que Ct), dicho aumento no llegó a ser significativo. En el 2011, los tratamientos T, A y A+V aumentaron los niveles de COS en un 14, 9 y 9%, respectivamente, diferenciándose significativamente de Ct. Es decir, estos CC mejoraron el balance de C, cumpliendo el principal objetivo de esta práctica de manejo para la zona en estudio. Los aumentos del COS estuvieron significativamente relacionados con la cantidad de C producido por los CC (Figura 1).

Al igual que el COS, los niveles de C de las fracciones lábiles (COP_g y COP_f) no reflejaron diferencias entre los CC y Ct durante el 2008 en 0-20 cm (Figura 2b y c). Esto sugiere que tres años de aportes de residuos no fueron suficientes para influir en las fracciones más dinámicas y lábiles de la materia orgánica del suelo, a pesar de que el aporte de MS fue diferente entre tratamientos (Figura 1). Estos resultados coinciden con lo reportado por Sainju et al. (2007) quienes no encontraron efectos de los CC sobre diferentes fracciones orgánicas lábiles luego de dos años de efectos acumulados. Si bien se encontraron mayores concentraciones de COP_g en los CC que en Ct, la alta variabilidad de los datos evaluados (CV= 40%) podrían haber enmascarado las diferencias entre tratamientos, variabilidad también encontrada en otros estudios (Duval et al., 2013, Galantini et al., 2014).

A partir del 2009, el aumento del COS por los CC estuvo dado principalmente por la mayor concentración de COP_g (Figura 2b). En los años 2009 y 2011 los tratamientos con CC aumentaron significativamente los niveles de COP_g en relación con Ct. También se observaron diferencias entre los CC, donde en general, las gramíneas presentaron mayores niveles de COP_g que V. Esta diferenciación entre especies puede deberse a la mayor calidad del aporte de la leguminosa (C:N=10-14), aumentando la velocidad de descomposición de los residuos afectando directamente el COP_g. En relación con Ct, en promedio, los tratamientos T, A y A+V aumentaron el COP_g un 66 y 95% en el 2009 y 2011, respectivamente, mientras que V lo aumentó en un 33 y 49% para los respectivos años (Figura 2b).

El COP_f , en relación al COP_g , se caracteriza por presentar una degradación más lenta y, por lo tanto, es relativamente menos lábil (Benbi et al., 2012). Esta fracción, presentó diferencias significativas entre tratamientos a partir del 2011 (Figura 2c). En ese año se observaron aumentos significativos del COP_f en T, A y A+V, mientras que V no se diferenció de Ct. Los aumentos observados en esta fracción fueron menores a los encontrados para COP_g , siendo del 32% para T, A y A+V y, aunque no significativo, 16% para V en el último año.

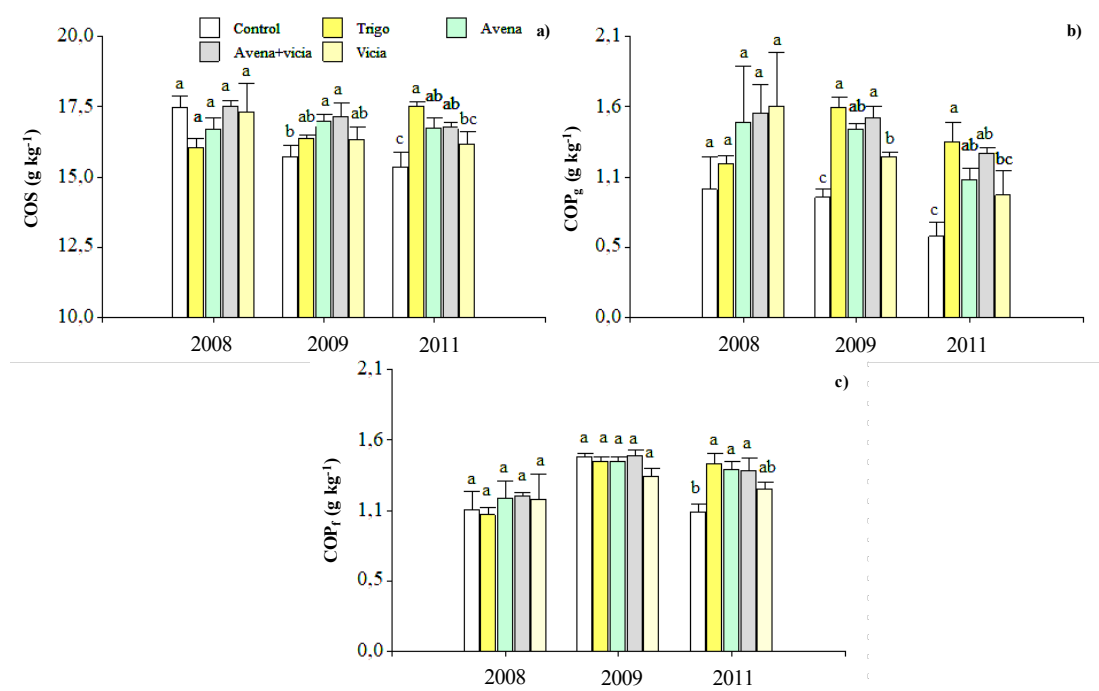


Figura 2: Efecto de la inclusión de los CC sobre el (a) carbono orgánico total (COS), (b) particulado grueso (COPg) y (c) particulado fino (COPf) en 0-20 cm.

Los 7,0 Mg MS ha⁻¹ año⁻¹, promedio de los CC con gramíneas equivalente a 3,1 Mg C ha⁻¹ año⁻¹, tuvieron efectos significativos sobre el sistema de producción de soja continua, en el que se observó luego de tres años una tendencia a mejorar los niveles de COS y un aumento significativo a partir del cuarto año (Figura 2a). El aporte de C por parte de la soja no varió entre tratamientos, hecho asociado a que no hubo diferencia en el rendimiento (Duval et al., 2016). Por lo tanto, las diferencias encontradas en los niveles de COS y sus fracciones deberían interpretarse como el efecto acumulado de diferentes aportes y su descomposición desde la inclusión de los CC.

El fraccionamiento físico por tamaño de partícula reflejó que la inclusión de los CC aumentó la concentración de C en la fracción más dinámica y directamente asociada al aporte de residuos (COP_g) a partir del cuarto año (2009) y, también sobre la fracción más

transformadas (COP_f) a partir del sexto año (2011) en 0-20 cm (Figura 2b y c). En este trabajo se observó que el COP_g mostró mayor sensibilidad a la práctica de manejo dado que, luego de cuatro años, los tratamientos con CC presentaron mayores concentraciones respecto al control. La inclusión de CC en lugar de un período de barbecho mejoró los niveles orgánicos del suelo mediante la sustitución del periodo de barbecho desnudo (fuente de C) por un período adicional de asimilación de C (Lal, 2001).

La cantidad de C aportado por los CC jugaron un papel importante en el efecto de los CC en los niveles orgánicos del suelo (total y sus fracciones) (Figura 2). Los niveles similares o mayores de COS, COP_g y COP_f observados 0-20 cm, con CC gramíneas (T, principalmente) que con V sugieren que las gramíneas pueden ser más eficientes que las leguminosas en el aumento de los niveles de C del suelo, debido, por un lado al aumento de la entrada de C (mayor aporte) y, por otro lado, a su menor calidad (C:N= 29-39), que puede haber resultado en una más lenta descomposición de sus residuos en el suelo.

Balance de carbono

Sobre la base de la producción de MS y el contenido de C (Figura 1), T y A serían las mejores opciones de CC en sistemas de monocultivo soja. La inclusión sistemática de CC en las secuencias agrícolas, con alta frecuencia de soja, realizó aportes significativos a la calidad del suelo. En el 2006 (inicio del ensayo), el contenido de COS fue de 55,2 Mg ha⁻¹, disminuyendo un 7,4 y 2,5% en Ct y V, respectivamente luego de seis CC consecutivos. Por el contrario, el COS aumentó entre un 5,4 a 0,9% en los tratamientos T, A y A+V diferenciándose significativamente de Ct. En estos casos, se observaron incrementos entre 4,6 y 7,1 Mg COS ha⁻¹. Dichos valores son similares a los reportados sobre una amplia revisión de ensayos de CC en diferentes sitios de la Región Pampeana (Rimski-Korsakow et al., 2015). Como resultado, la utilización de CC (T, A y A+V) en monocultivo de soja aumentó el COS a una velocidad de 597 a 98 kg C ha⁻¹ año⁻¹, mientras que se perdió COS a un ritmo de 824 y 289 kg C ha⁻¹ año⁻¹ sin CC o utilizando leguminosas (V), respectivamente. En la Figura 3 se observa la relación en el aporte de C por parte de los residuos (CC + soja) y los cambios del COS durante el período de estudio (2006-2011). A partir de dicha información, se puede estimar el aporte de C necesario para no generar disminuciones en los contenidos de COS. En este caso, se necesitan al menos 4,5 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ para no generar disminuciones en los contenidos de COS en el horizonte superficial. Estos resultados concuerdan con lo reportado por otros autores, quienes estimaron aportes de 4,1 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ para mantener niveles de COS entre 16,9 y 18,9 g kg⁻¹ en 0-15 cm (Pikul et al., 2008; Benjamin et al., 2010). Por lo

tanto, después de seis años, el aumento del aporte de residuos al suelo por el uso de CC aumentó el almacenamiento de COS en un sistema de monocultivo soja presentando, a su vez, diferencias entre especies. En este sentido, desde el punto de vista de conservación o aumento de los contenidos de COS, los sistemas de cultivo con la inclusión de CC como A, A+V y T serían una opción viable, principalmente este último por los mayores aumentos del COS (Figura 2a). Por medio de simulaciones, Milesi Delaye et al. (2014) calcularon que para mantener los niveles de la materia orgánica en situaciones de monocultivo de soja era necesario utilizar CC. Estos autores estimaron que un CC incorporaría entre 2,3 y 3,1 Mg C ha⁻¹ año⁻¹, valores similares a los hallados en este estudio para T, A y A+V.

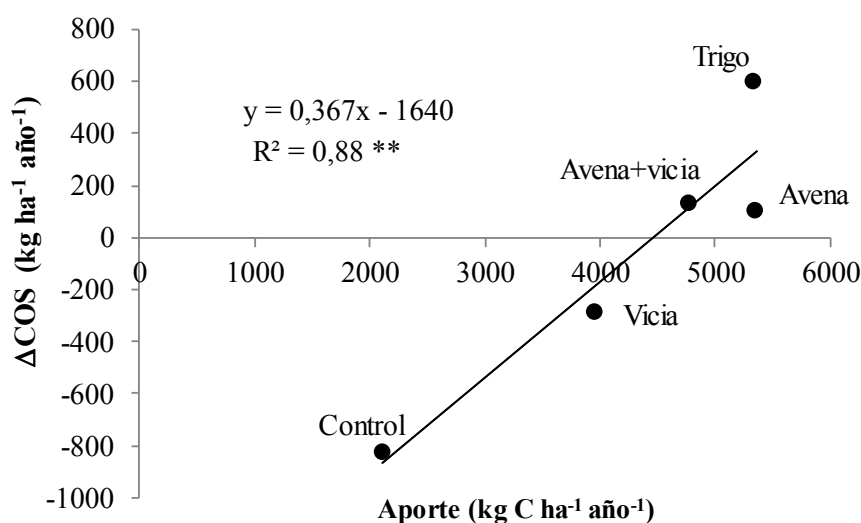


Figura 3: Relación entre el cambio del carbono orgánico total ($\Delta\text{COS}_{2011-2006}$) y el aporte promedio de carbono a través de los residuos.

Conclusiones

La utilización de CC contribuye a incrementar los contenidos de COS en los agroecosistemas simplificados que predominan actualmente en la Región Pampeana. Las gramíneas como CC fueron más eficientes en producir MS y por consiguiente más eficaces en incrementar el COS en comparación con el barbecho tradicional.

Luego de cuatro años se modificaron, principalmente, los niveles de las fracciones orgánicas más lábiles (COP_g) mientras que luego de seis años los efectos de los CC se hallaron tanto en las fracciones lábiles (COP_g y COP_f) como en el COS. Dichas fracciones evidenciaron que la inclusión de gramíneas (puras o consociadas) como CC son una alternativa de manejo válida para generar cobertura y mejorar el balance de carbono de los suelos bajo monocultivo de soja en el sur de Santa Fe.

Bibliografía consultada

- Álvarez, C.; M. Barraco; M. Díaz-Zorita; C. Scianca. 2006. Uso de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja: efecto sobre algunas propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos en un Hapludol típico del noroeste bonaerense. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Benbi, D.K.; A.S. Toor; S. Kumar. 2012. Management of organic amendments in rice-wheat cropping system determines the pool where carbon is sequestered. *Plant Soil*. 360 (1-2), 145-162.
- Benjamin, J.G.; A.D. Halvorson; D.C. Nielsen; M.M. Mikha. 2010. Crop management effects on crop residue production and changes in soil organic carbon in the central Great Plains. *Agron. J.* 102(3):990-997.
- Caviglia, O.P.; V.O. Sadras; F.H. Andrade. 2011. Yield and quality of wheat and soybean in sole- and double-cropping. *Agron. J.* 103: 1081-1089.
- Christensen, B.T. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *Eur. J. Soil Sci.* 52(3), 345-353.
- Daliparthi, J.; S. Herbert; P. Veneman. 1994. Dairy manure application to alfalfa: crop response, soil nitrate, and nitrate in soil water. *Agron. J.* 86: 927-933.
- Derpsch, R.; T. Friedrich; A. Kassam; H. Li. 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 3: 1.
- Duval, M.E.; J.A. Galantini; J.O. Iglesias; S. Canelo; J.M. Martínez; L. Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil & Till. Res.* [131: 11-19](#).
- Duval, M.E.; J.A. Galantini; J.E. Capurro; JM Martinez. 2016. Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. *Soil & Till. Res.* [161, 95-105](#).
- Galantini, J.A.; M. Duval; J.O. Iglesias; H. Krüger. 2014. Continuous wheat in semiarid regions: long-term effects on stock and quality of soil organic carbon. *Soil Sci.* [179, 284-292](#).
- Lal, R. 2001. World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 145-191.
- Milesi Delaye, L.A.; A.B. Irizar; G.O. Magrín; A.E. Andriulo. 2014. Perspectivas para el stock orgánico del suelo de la Pampa Ondulada bajo diferentes escenarios agronómicos y climáticos. In: Pascale Medina C. (Ed.). *Suelos, Producción Agropecuaria y Cambio Climático*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, E-Book.
- Pikul, J.L.; J.M.F. Johnson; T.E. Schumacher; M. Vigil; W.E. Riedell. 2008. Change in surface soil carbon under rotated corn in eastern South Dakota. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1738-1744.
- Pittelkow, C.M.; X. Liang; B.A. Linquist; K.J. Van Groenigen; J. Lee; M.E. Lundy; N. Van Gestel; J. Six; R.T. Venterea; C Van Kessel. 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 517, 365-368.
- Rimski-Korsakov, H.; C.R. Alvarez; R.S. Lavado. 2015. Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(6), 134A-140A.
- Sainju, U.M.; B.P. Singh; W.F. Whitehead. 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agron. J.* 90:511-518.
- Sainju, U.M.; B.P. Singh; W.F. Whitehead; S. Wang. 2007. Accumulation and crop uptake of soil mineral nitrogen as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 99: 682-691.
- Salvo, L.; J. Hernandez; O. Ernst. 2010. Distribution of soil organic carbon in different size fractions, under pasture and crop rotations with conventional tillage and no-till systems. *Soil Till. Res.* 109: 116-122.
- Unger, P.W.; M.F. Vigil. 1998. Cover crops effects on soil water relationships. *J. Soil Water Conserv.* 53:200-207.
- Wright, A.L.; F.M. Hons. 2005. Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from different tillage and crop regimes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 141-147.